

Dimensionamiento de una Instalación Fotovoltaica de Generación Distribuida conectada a Red para autoconsumo en un Centro Comercial en la Provincia del Guayas y Análisis de Viabilidad Técnica y Económica

Bryan Eduardo Villegas Carrasco ⁽¹⁾
Alex Fernando Benavides Maldonado ⁽²⁾
Msc. Jorge Montealegre García ⁽³⁾

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación,
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador
bryedvil@espol.edu.ec ⁽¹⁾
alfebena@espol.edu.ec ⁽²⁾

Universidad Politécnica De Valencia (UPV)
Msc. Energía Renovables, Profesor de Materia de Graduación ⁽³⁾
montealegre@espol.edu.ec ⁽³⁾

Resumen

El presente trabajo consiste en identificar si resulta rentable la aplicación de un sistema fotovoltaico conectado a la red en el centro comercial El Paseo Shopping "Durán", además si es benéfico vender la energía o consumirla, en base a un análisis de sensibilidad tomando en cuenta los costos de la regulación 004/11 del CONELEC. Primero se explica la información del centro comercial, ubicación, dimensiones, datos de demanda, etc. Luego se realiza una explicación detallada de los componentes que conforman el sistema fotovoltaico y los factores que afectan la radiación solar en el país. Además se detalla la información del centro comercial, las características de cada componente, la productividad y el dimensionamiento de los paneles fotovoltaicos, es decir su orientación, distribución y cableado. Finalmente se realiza un análisis de viabilidad técnica y económica para determinar el presupuesto, la conveniencia del propietario en vender o consumir la energía y la rentabilidad en su implementación.

Palabras Claves: Aplicación de un Sistema fotovoltaico conectado a la red en centros comerciales

Abstract

The present work is to identify profitable if the application of a photovoltaic system connected to the network in the El Paseo Shopping "Duran" shopping center and if energy is beneficial to sell or consume it, based on a sensitivity analysis taking into account the costs of regulation 004/11 CONELEC. First information mall location, size, demand data, etc. is explained A detailed explanation of the components making up the photovoltaic system and the factors affecting solar radiation in the country is then performed. Besides information from the mall, the characteristics of each component, productivity and capacity of photovoltaic panels, orientation, distribution and detailed wiring. Finally, an analysis of technical and economic feasibility is performed to determine the budget, the convenience of the owner to sell or consume energy and profitability in its implementation.

Keywords: Applying a Photovoltaic system connected to the network in malls

1. Introducción

A medida que la demanda energética crezca, nuestro sistema eléctrico tendrá que ser reforzado y tendremos que instalar cada vez más centrales eléctricas. Para tratar de reducir su implementación, debemos recurrir a la Generación Distribuida y cada vez aprovechar de nuestros recursos renovables. La Generación Distribuida está ligada íntimamente con las fuentes fotovoltaicas, debido a la modularidad de esta tecnología, la cual permite su instalación en centros comerciales, viviendas, edificios, etc. De esta manera se acerca físicamente la generación de energía a los puntos de consumo.

Por esta razón, el presente trabajo trata de analizar si resulta ventajoso colocar una fuente fotovoltaica conectada a la red en centros comerciales en lo que se refiere a normativa, precios de componentes y de la energía eléctrica, de manera que los paneles fotovoltaicos aparte de generar energía, pueda dar una agradable presentación y comodidad al usuario.

En la mayoría de los centros comerciales, sus parqueaderos suelen estar a la intemperie, y comúnmente se usan en los “Estacionamientos Solares”, que es una estructura metálica que soporta al Panel Fotovoltaico y además brinda sombra a los vehículos que se encuentren debajo.

2. Metodología

Para realizar el dimensionamiento de la instalación fotovoltaica, hay que tener en cuenta los datos de radiación solar, además los datos de consumo de energía, el área del sitio y los componentes necesarios para su implementación. Los cuales fueron obtenidos de la base de datos de la Nasa y el consumo de energía en base a los datos históricos de CNEL Guayas-Los Ríos [2]. En lo que respecta al área se tomó medidas del sitio, y por último se realiza un análisis de rentabilidad.

3. Información del centro comercial

El centro comercial elegido para el diseño de la instalación fotovoltaica es el Paseo Shopping que se encuentra ubicado en el cantón Durán de la provincia del Guayas, sus coordenadas decimales son: latitud -2.178972, longitud -79.824694; y sus coordenadas geográficas son: latitud 2°10'44.2" S y longitud 79°49'28.9" W; se encuentra a 11 m sobre el nivel del mar [1].

3.1. Dimensiones del parqueadero

El área del parqueadero sobre la cual se van a instalar los paneles es de 14520 m² y las dimensiones se muestran en la Figura 1.



Figura 1. Dimensiones del parqueadero

2.2. Datos de demanda

El centro comercial El Paseo Shopping Durán, presenta una demanda máxima diaria alrededor de 350 kW hasta las 8:00 de la mañana y de ahí aumenta hasta 2500 kW a eso de las 17:00 – 18:00 de la tarde que sería la demanda pico como se muestra en la Figura 2. Es necesario conocer este patrón de consumo para dimensionar correctamente y no tener excedentes en la instalación. Basándonos en la curva de carga diaria definimos que nuestro sistema fotovoltaico tendrá una potencia de 260 kW pico, el motivo por el cual seleccionamos este valor es para abastecer el menor consumo sin producir excedentes, ya que el sol sale de 6:00 a 18:00, en este intervalo funcionará la instalación produciendo los 260 kW pico y no sobrepasará la demanda mínima del centro comercial que es de 350 kW.

La curva de carga diaria del centro comercial, se la obtuvo en base a la curva de carga mensual donde se aprecia que el mes de mayor demanda es en diciembre y se da el 23 para el año 2014. Las curvas de carga se las hizo mediante el uso de los datos históricos del CNEL. Guayas-Los Ríos [2].

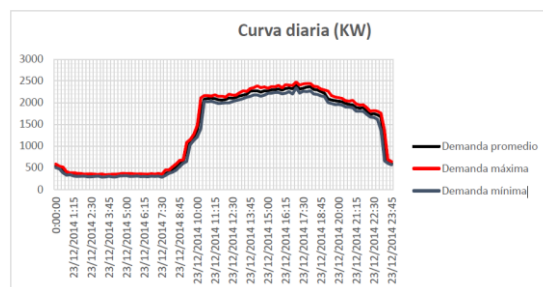


Figura 2. Curva diaria

4. Características del Dimensionamiento del SFCR

Al dimensionar la instalación fotovoltaica, se seleccionó paneles de marca Yingli Solar, el cual tiene una potencia de 250 W, orientados al sur con una inclinación y una eficiencia de 15.3%. En estos sistemas fotovoltaicos no es necesario implementar paneles de alta eficiencia, debido a que el área del centro comercial es muy amplia y porque tienen una buena relación calidad precio, ofreciendo un comportamiento térmico del panel a un bajo costo.

En lo que respecta al inversor, se usa uno con una capacidad de 250KW marca POWERONE, además este inversor es de origen Europeo, debido a su capacidad. Cabe indicar que el inversor se encuentra al reverso del centro comercial junto a su subestación.

En las instalaciones fotovoltaicas de baja generación, es común tener fallas en algún panel fotovoltaico y detectarlo, pero si la capacidad de generación es mayor es muy difícil detectarlo, por eso se usa supervisores de cadenas de paneles fotovoltaicos SFS24 marca Power Electronics, para protegerlos y mejorar la eficiencia de la instalación.

Para brindar una mejor presentación y sombra a los vehículos de los usuarios del centro comercial, se usan estructuras de soportes conocidas como "Parking Solar", las cuales tienen una altura de 2.50 m y una dimensión de 6 m x 8 m, la misma que puede abarcar hasta 3 vehículos y su ángulo de inclinación es de 10°.

El sistema fotovoltaico consta con un mallado de 41 varillas de cobre, las cuales estarán ubicadas una en el inversor y las demás en las 40 cadenas de paneles, cada varilla está conectada con la estructura y cadena de paneles.

Para poder realizar la conexión con la red nuestro sistema fotovoltaico debe tener un voltaje de 13800 v, pero no será posible aquello sino se tiene un transformador, ya que el inversor entrega un voltaje de salida de 320 v y una corriente de 450 A, con lo cual se tiene que la capacidad del transformador debe ser de 300 KVA y una relación de transformación de 320/13800 v.

Para poder realizar la conexión de las cajas de cadenas de paneles con el inversor, se usan canalizaciones para trasladar el conductor y evitar así tener choques eléctricos con los usuarios e una mala imagen al centro comercial.

5. Componentes de la instalación

5.1. Características del panel

Seleccionamos el panel policristalino de la marca Yingli Solar de 250 W con las características que se muestran en la Tabla 1 y 2.

Tabla 1. Características generales

Yingli Solar YL250P-29b	
Células solares	Silicio Policristalina 156x156(mm)
Número de células	60 (6 x 10)
Dimensiones	1650 x 990 x 40 (mm)
Peso	18.5 kg
Eficiencia	15.3%

Tabla 2. Características eléctricas

Parámetros eléctricos	STC	NOCT
Potencia de salida	250 W	182,4 W
Tensión en Pmax	29,8 V	27,2 V
Intensidad en Pmax	8,39 A	6,71 A
Tensión en circuito abierto	37,6 V	34,7 V
Intensidad en cortocircuito	8,92 A	7,21 A

5.2. Características del inversor

Para el análisis utilizaremos un inversor de origen europeo debido a la capacidad que se requiere que es de 260 kW, para ello seleccionamos uno de una capacidad de 250 kW, para mejorar el rendimiento de la instalación es necesario que la potencia nominal de los paneles sea mayor que la potencia nominal del inversor. El inversor seleccionado es PVI-250 marca PowerOne con las siguientes características [3]:

Tabla 3. Parámetros del inversor

Inversor Power One PVI-250	
Tensión máxima CC	1000V
Rango de tensión MPP del inversor CC	485 - 850 V.
Máxima corriente CC en la entrada	550 A
Tipo de conexión CA a red	Trifásico
Potencia nominal CA en la salida	250 kW
Tensión nominal CA en la salida	320 V
Máxima corriente CA en la salida	450 A
Rendimiento máximo	98,5%
Frecuencia nominal	50/60 Hz

6. Dimensionamiento de los paneles

El Paseo Shopping "Duran" tiene un parqueadero con una superficie de 14520 m², la misma que puede abarcar hasta 4427 paneles fotovoltaicos, asumiendo que el panel ocupa un área de 3.28 m².

Cada módulo es de 250 W, en relación al área del parqueadero se tiene 1040 paneles fotovoltaicos necesarios para abastecer la demanda de 260Kw. El inversor Power-one de 250kW consta con un rango de tensión de 485-850v y puede soportar hasta 1000 V en CC.

La instalación fotovoltaica consta de 26 paneles en serie, que conforman una mesa o cadena de paneles y 40 de los mismos en paralelo, cumpliendo así con los 1040 paneles. Cada cadena de paneles es de 26 paneles fotovoltaicos en serie con un voltaje de 774.8 V y una corriente de 8.39 A, las 40 cadenas de paneles en paralelo entregan al inversor un voltaje de 774.8 V y una corriente de 336 A.

El inversor entrega al transformador un voltaje de 320 V, con una máxima corriente de 450 A. El transformador debe tener una capacidad de 300

KVA con una relación de transformación de 320 / 13800 V.

6.1. Distribución de los paneles

Los 1040 paneles a instalarse se los va a agrupar de la siguiente manera:

Una mesa o cadena de paneles va a estar conformada por 26 paneles cuyas dimensiones se muestran en la Figura 3.

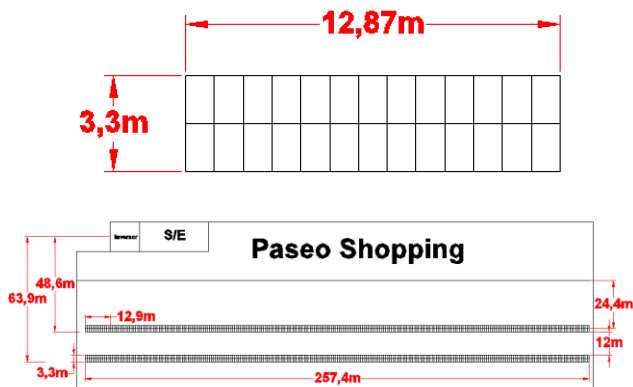


Figura 3. Dimensiones de una cadena de paneles

Las 40 cadenas se agrupan en dos grupos de 20 y cada grupo va conectado a una caja de cadenas de paneles, que de ahí van directamente al inversor como se ve en la Figura 4.



Figura 4. Distribución de los paneles

6.2. Cableado

En base al dimensionamiento de los paneles, se tiene 1040 paneles fotovoltaicos de los cuales hay 40 cadenas en paralelo y 26 en serie. En el sistema se tiene un voltaje de 774.8 V, circulando 8.39 A por cada cadena y como se tiene 2 cajas de cadenas de paneles por cada uno circulara 167.8 A. En el inversor circulará 335.6 A.

Tomando en cuenta las normativas ITC-BT-15 y ITC-BT-19 para el cableado y una caída de tensión del 3%. Para el cableado de los paneles en serie que lleguen a las cajas de cadenas de paneles se usa un cable tipo XLPE calibre #10 de sección 6 mm² para una tensión máxima de 2 Kv.

De las cajas de cadenas de paneles al inversor se usa un cable tipo XLPE calibre #2/0 de sección 67,42 mm² para una tensión máxima de 2 Kv.

Del inversor al transformador se usará un cable de calibre 600 MCM de sección 300 mm² para una tensión máxima de 600V.

6.3. Datos de radiación e inclinación

Para determinar la inclinación del Panel Fotovoltaico nos basamos con la Radiación Solar publicada por la Nasa, donde se debe solo ingresar la Latitud y Longitud para que nos indique los datos de irradiación [8]. Además se usó como datos de referencia del capítulo 14 del NEC11, en la sección cálculo de radiación en superficie inclinadas [9].

En la primera fila de la Tabla 4 se muestra los datos de radiación en kWh/m²/dia de cada mes obtenidos de la página de la Nasa según la latitud y longitud de nuestro proyecto; y en el cuadro siguiente se muestra el factor de corrección según la latitud [9].

Tabla 4. Radiación solar y factor de corrección

RAD. SOLAR(KWh/M2/DIA)	4,49	4,59	5,04	4,91	4,51	4,18	4,01	4,5	4,74	4,51	4,72	4,71
INCLINACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	0,97	0,98	1	1,01	1,01	1,03	1,02	1,01	1	0,98	0,97	0,96
10	0,93	0,96	0,99	1,02	1,04	1,05	1,04	1,02	0,99	0,96	0,93	0,92
15	0,89	0,93	0,98	1,02	1,05	1,06	1,05	1,02	0,98	0,93	0,89	0,87
20	0,84	0,89	0,96	1,02	1,06	1,07	1,05	1,01	0,96	0,89	0,84	0,82
25	0,78	0,84	0,93	1,01	1,06	1,07	1,04	1	0,93	0,85	0,79	0,76
30	0,72	0,8	0,89	0,99	1,05	1,06	1,03	0,98	0,9	0,8	0,73	0,69
35	0,65	0,74	0,85	0,96	1,03	1,05	1,02	0,95	0,86	0,75	0,66	0,62
40	0,58	0,68	0,81	0,93	1,01	1,03	0,99	0,92	0,81	0,69	0,59	0,55
45	0,51	0,62	0,75	0,89	0,98	1	0,96	0,88	0,77	0,63	0,52	0,47
50	0,43	0,55	0,7	0,84	0,94	0,97	0,93	0,84	0,71	0,57	0,45	0,39
55	0,35	0,48	0,64	0,79	0,9	0,93	0,89	0,79	0,65	0,5	0,37	0,31
60	0,27	0,4	0,57	0,74	0,85	0,88	0,84	0,74	0,59	0,42	0,29	0,23
65	0,19	0,32	0,5	0,68	0,8	0,84	0,79	0,68	0,53	0,35	0,2	0,14
70	0,11	0,24	0,43	0,61	0,74	0,78	0,73	0,62	0,46	0,27	0,13	0,12
75	0,11	0,16	0,36	0,57	0,68	0,72	0,67	0,56	0,39	0,19	0,12	0,11
80	0,1	0,1	0,28	0,47	0,61	0,66	0,61	0,49	0,31	0,13	0,11	0,1
85	0,09	0,09	0,2	0,4	0,54	0,59	0,54	0,42	0,24	0,12	0,11	0,1
90	0,08	0,08	0,12	0,32	0,47	0,52	0,47	0,35	0,16	0,11	0,1	0,09

Entonces multiplicamos los datos de radiación de un día de cada mes por los factores de corrección según la inclinación y obtenemos en la Tabla 5 la radiación solar corregida para cada inclinación, de la cual usamos la de 10° para nuestro proyecto.

Tabla 5. Radiación solar y factor de corrección

INCLINACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0	4,49	4,59	5,04	4,91	4,51	4,18	4,01	4,5	4,74	4,51	4,72	4,71
5	4,3553	4,4982	5,04	4,9591	4,5551	4,3054	4,0902	4,545	4,74	4,4198	4,5784	4,5216
10	4,176	4,406	4,99	5,008	4,69	4,389	4,17	4,59	4,693	4,33	4,39	4,333
15	3,9961	4,2687	4,9392	5,0082	4,7355	4,4308	4,2105	4,59	4,6452	4,1943	4,2008	4,0977
20	3,7716	4,0851	4,8384	5,0082	4,7806	4,4726	4,2105	4,545	4,5504	4,0139	3,9648	3,8622
25	3,5022	3,8556	4,6872	4,9591	4,7806	4,4726	4,1704	4,5	4,4082	3,8335	3,7288	3,5796
30	3,2328	3,672	4,4856	4,8609	4,7355	4,4308	4,1303	4,41	4,266	3,608	3,4456	3,2499
35	2,9185	3,3966	4,284	4,7136	4,6453	4,389	4,0902	4,275	4,0764	3,3825	3,1152	2,9202
40	2,6042	3,1212	4,0824	4,5663	4,5551	4,3054	3,9699	4,14	3,8394	3,1119	2,7848	2,5905
45	2,2899	2,8458	3,78	4,3699	4,4198	4,18	3,8496	3,96	3,6498	2,8413	2,4544	2,2137
50	1,9307	2,5245	3,528	4,1244	4,2394	4,0546	3,7293	3,78	3,3654	2,5707	2,124	1,8369
55	1,5715	2,2032	3,2256	3,8789	4,059	3,8874	3,5689	3,555	3,081	2,255	1,7464	1,4601
60	1,2123	1,836	2,8728	3,6334	3,8335	3,6784	3,3684	3,33	2,7966	1,8942	1,3688	1,0833
65	0,8531	1,4688	2,52	3,3388	3,608	3,5112	3,1679	3,06	2,5122	1,5785	0,944	0,6594
70	0,4939	1,1016	2,1672	2,9951	3,3374	3,2604	2,9273	2,79	2,1804	1,2177	0,6136	0,5652
75	0,4939	0,7344	1,8144	2,7987	3,0668	3,0096	2,6867	2,52	1,8486	0,8569	0,5664	0,5181
80	0,449	0,459	1,4112	2,3077	2,7511	2,7588	2,4461	2,205	1,4694	0,5863	0,5192	0,471
85	0,4041	0,4131	1,008	1,964	2,4354	2,4662	2,1654	1,89	1,1376	0,5412	0,5192	0,471
90	0,3592	0,3672	0,6048	1,5712	2,1197	2,1736	1,8847	1,575	0,7584	0,4961	0,472	0,4239

6.4. Productividad de la instalación

La energía producida mensualmente se la observa en la Tabla 6.

Tabla 6. Energía producida

Mes	Eac(Kwh/mes)
Enero	22616,93
Febrero	21556,81
Marzo	27025,27
Abril	26250,98
Mayo	25404,71
Junio	23005,38
Julio	22588,22
Agosto	24860,91
Septiembre	24596,73
Octubre	23450,50
Noviembre	23008,53
Diciembre	23470,00
Total anual	287834,97

7. Análisis de viabilidad económica

7.1. Presupuesto

En la Tabla 7 se detalla el presupuesto total de la instalación en el cual observamos que la parte del generador fotovoltaico es la más costosa, por lo que el costo total de la inversión sería de \$595.112 que equivale a 2,29 \$/Wp.

Tabla 7. Presupuesto total

Presupuesto Total		
Concepto	\$/Wp	Total
Generador fotovoltaico	\$ 1,94	\$ 504.122,00
Material eléctrico	\$ 0,25	\$ 65.230,00
Obra civil	\$ 0,08	\$ 20.140,00
Costo de interconexión	\$ 0,02	\$ 5.620,00
TOTAL	\$ 2,29	\$ 595.112,00

7.2. Mecanismos de retribución económica

Existen mecanismos de retribución económica que compensan al propietario del sistema por la energía que su sistema intercambia con la red. Pueden distinguirse, de forma simplificada, dos esquemas: la retribución con prima (FIT) y el balance neto [4].

7.2.1. Retribución con prima (FIT). En el mecanismo de retribución con prima, generalmente el propietario del

SFCR recibe ingresos derivados de la energía total producida (independientemente de la que haya sido consumida en las cercanías del SFCR). En este caso, el diseño no necesita considerar un consumo a satisfacer, como sí será el caso en los sistemas autónomos. Con este mecanismo, el objetivo del diseñador es que la producción anual del sistema sea la máxima posible sin tomar en consideración los consumos cercanos (siendo posible instalar un SFCR sin ningún consumo asociado). Este mecanismo favorece la implantación de los sistemas fotovoltaicos cuando el coste de la energía producida es superior al de la tarifa eléctrica convencional.

7.2.2. Balance neto. El mecanismo de balance neto compensa los saldos de energía eléctrica entre el SFCR y un sistema de consumo asociado. Cuando la producción del SFCR supera al consumo, la red eléctrica absorbe el excedente puntual, generándose derechos de consumo diferido para el propietario del SFCR. Estos derechos de consumo se pueden ejercer cuando la producción del SFCR no es suficiente para satisfacer el consumo asociado. La interacción entre el SFCR, el consumo y la red bajo este mecanismo de retribución favorece la generación distribuida y la gestión de la demanda. El diseño de un SFCR en el contexto de este mecanismo debe incluir el consumo asociado como una variable adicional que condicionará el tamaño del generador fotovoltaico.

Este mecanismo no se aplica en el Ecuador y si se aplicara tampoco sería beneficioso ya que la instalación no produce excedentes.

7.3. Análisis de sensibilidad

Para realizar este análisis tomamos en cuenta el mecanismo FIT con la tarifa de 0,4003 \$/kWh de la regulación 004/11 del CONELEC la misma que ya no se encuentra en vigencia y la de 0,081 \$/kWh que es la tarifa de consumo.

7.3.1. Con la tarifa de 0,4003 \$/kWh. A continuación en la Tabla 8 se muestra los flujos de ingresos y mantenimiento durante los 20 años que es la vida útil de la instalación (a excepción del inversor que es de 10 años). Para los ingresos por la venta de energía usamos la tarifa de 0,4003 \$/kWh de la regulación 004/11 del CONELEC, afectada por la disminución del rendimiento de los paneles en 1% cada año para el caso más pesimista. Y para los costos de mantenimiento asumimos un 0,5% del costo de inversión inicial y el valor de reemplazar el inversor solo para el año 10.

Tabla 8. Flujos anuales para 0,4003 \$/kWh

Año	Tarifa (\$/kWh)	Rendimiento paneles	Energía vendida(kWh)	Ingresos (\$)	Mantenimiento (\$)	Flujo anual (I-M)(\$)
1	0,4003	100%	287834,97	115220,34	2975,56	112244,78
2	0,4003	99%	284956,62	114068,14	2975,56	111092,58
3	0,4003	98%	282078,27	112915,93	2975,56	109940,37
4	0,4003	97%	279199,92	111763,73	2975,56	108788,17
5	0,4003	96%	276321,57	110611,52	2975,56	107635,96
6	0,4003	95%	273443,22	109459,32	2975,56	106483,76
7	0,4003	94%	270564,87	108307,12	2975,56	105331,56
8	0,4003	93%	267686,52	107154,91	2975,56	104179,35
9	0,4003	92%	264808,17	106002,71	2975,56	103027,15
10	0,4003	91%	261929,82	104850,51	43617,56	61232,95
11	0,4003	90%	259051,47	103698,30	2975,56	100722,74
12	0,4003	89%	256173,12	102546,10	2975,56	99570,54
13	0,4003	88%	253294,77	101393,90	2975,56	98418,34
14	0,4003	87%	250416,42	100241,69	2975,56	97266,13
15	0,4003	86%	247538,07	99089,49	2975,56	96113,93
16	0,4003	85%	244659,72	97937,29	2975,56	94961,73
17	0,4003	84%	241781,37	96785,08	2975,56	93809,52
18	0,4003	83%	238903,03	95632,88	2975,56	92657,32
19	0,4003	82%	236024,68	94480,68	2975,56	91505,12
20	0,4003	81%	233146,33	93328,47	2975,56	90352,91
TOTAL			5209812,96	\$ 2.085.488,13	\$ 100.153,20	\$ 1.985.334,93

Usando una tasa de interés efectiva del 16,3% tomado como referencia de la página del Banco Central del Ecuador [5]. Se obtiene que el tiempo en el que se recupera la inversión es de aproximadamente $15,7 \approx 16$ años. Con un VAN de \$16573,44 y un TIR del 16,86% por lo que es mayor que 16,3% con lo cual decimos que esta opción es rentable usando el mecanismo FIT.

7.3.2. Con la tarifa de 0,081 \$/kWh. De la misma forma como hicimos anteriormente, en la Tabla 9 se muestra los flujos de ingresos y mantenimiento durante los 20 años que es la vida útil de la instalación (a excepción del inversor que es de 10 años). Para los ingresos usamos la tarifa de 0,081 \$/kWh que es la tarifa eléctrica de consumo [6], afectada por la disminución del rendimiento de los paneles en 1% cada año para el caso más pesimista. Y para los costos de mantenimiento asumimos un 0,5% del costo de inversión inicial y el valor de reemplazar el inversor solo para el año 10.

Tabla 9. Flujos anuales para 0,081 \$/kWh

Año	Tarifa (\$/kWh)	Rendimiento paneles	Energía producida (kWh)	Ingresos (\$)	Mantenimiento (\$)	Flujo anual (I-M)(\$)
1	0,081	100%	287834,97	23314,63	2975,56	20339,07
2	0,081	99%	284956,62	23081,49	2975,56	20105,93
3	0,081	98%	282078,27	22848,34	2975,56	19872,78
4	0,081	97%	279199,92	22615,19	2975,56	19639,63
5	0,081	96%	276321,57	22382,05	2975,56	19406,49
6	0,081	95%	273443,22	22148,90	2975,56	19173,34
7	0,081	94%	270564,87	21915,75	2975,56	18940,19
8	0,081	93%	267686,52	21682,61	2975,56	18707,05
9	0,081	92%	264808,17	21449,46	2975,56	18473,90
10	0,081	91%	261929,82	21216,32	43617,56	-22401,24
11	0,081	90%	259051,47	20983,17	2975,56	18007,61
12	0,081	89%	256173,12	20750,02	2975,56	17774,46
13	0,081	88%	253294,77	20516,88	2975,56	17541,32
14	0,081	87%	250416,42	20283,73	2975,56	17308,17
15	0,081	86%	247538,07	20050,58	2975,56	17075,02
16	0,081	85%	244659,72	19817,44	2975,56	16841,88
17	0,081	84%	241781,37	19584,29	2975,56	16608,73
18	0,081	83%	238903,03	19351,15	2975,56	16375,59
19	0,081	82%	236024,68	19118,00	2975,56	16142,44
20	0,081	81%	233146,33	18884,85	2975,56	15909,29
TOTAL			5209812,96	\$ 421.994,85	\$ 100.153,20	\$ 321.841,65

Como se observa en la Tabla 9 el flujo anual para los 20 años es de \$321841,65 lo que no alcanzaría para recuperar la inversión de \$595112 por lo tanto esta tarifa no sería beneficioso para nuestro caso.

7.4. LCOE (Costo Nivelado de la Energía)

Para comparar la relación entre el precio de la energía generada mediante la utilización de sistemas fotovoltaicos con el precio establecido por la compañía distribuidora de electricidad, es necesario la utilización de un modelo teórico que determine todos los costos referentes a la generación fotovoltaica durante el transcurso de la vida útil del sistema. Este modelo teórico se conoce como “Costo Nivelado de la Energía” y define el valor medio del costo de la generación fotovoltaica expresado en USD/kWh [7].

LCOE es el costo teórico de generar energía eléctrica, que permite conocer si estamos en paridad de red, en donde se incluye la inversión inicial, tasa de descuento y costos de mantenimiento, la fórmula para realizar este análisis es la siguiente:

$$LCOE = \frac{I + \sum_{t=1}^n \frac{Mt}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{Et}{(1+r)^t}} \quad (Ec.1)$$

Donde:

LCOE: esta dado en [USD/kWh]

n= tiempo de vida de la instalación [años]

I= Inversión inicial [USD]

Mt= Costos de mantenimiento [USD]

Et= Energía generada durante el tiempo de vida de la instalación [kWh/año]

r= tasa de descuento

Resolviendo tenemos que el LCOE de nuestra instalación es de 0,39 USD/kWh, esto indica que si la tarifa que paga la empresa por producir energía fotovoltaica está por encima del LCOE es rentable.

8. Conclusiones

- 1) Basándonos en la regulación 004/11 del CONELEC que estuvo vigente hasta el año 2012, conocimos que la tarifa para proyectos fotovoltaicos menores a 1 MW fue de 40.03 cUSD/kWh, la cual solo fue aplicable para proyectos aprobados en ese año; por lo que no existe una normativa actual que regule el precio por la venta de energía fotovoltaica. Del análisis realizado se llega a la conclusión que el proyecto es rentable.
- 2) El centro comercial presenta una demanda hasta las 9 am de 350 Kw, para lo cual se ha determinado abastecer 260 Kw y para ello se requiere de 1040 paneles fotovoltaicos de 250w que ocupa 1.63 m2. Teniendo en cuenta a todos los paneles se ocupa 1696 m2, los mismos que deben

estar colocados sobre una estructura metálica de 2.50 m, además orientados al sur y con una inclinación de 10°.

- 3) El presupuesto total de la instalación fue de \$ 595.112,00 teniendo un precio por vatio pico de 2,29 \$/Wp.
- 4) Analizando el proyecto con el mecanismo de retribución FIT usando la regulación 004/11 del CONELEC nos sale que es rentable con un TIR de 16,86% y un VAN de \$16573,44; y el tiempo de recuperación de la inversión es de 16 años.
- 5) En base a los resultados obtenidos, el LCOE de la instalación fotovoltaica es de 0,39 USD/kWh lo que indica que para obtener rentabilidad, la tarifa que se debe pagar por producir la energía fotovoltaica debe ser mayor a este precio del LCOE.

9. Recomendaciones

- 1) Se recomienda crear una normativa/regulación para instalaciones fotovoltaicas que ayude a fomentar el uso de esta tecnología ya que en las condiciones actuales este tipo de proyectos no son viables económicamente.
- 2) Se aconseja que la potencia nominal de la instalación sea un poco mayor que la potencia del inversor para que el inversor trabaje eficientemente y además que se encuentre en un sitio con climatización.
- 3) La inclinación optima de los paneles seria cero; pero se recomienda que tenga una inclinación entre 10° y 15° para evitar que se acumule la suciedad.

10. Referencias

- [1] GoogleMaps, <https://maps.google.com/>
- [2] Base de datos CNEL Guayas – Los Ríos
- [3] Power One, Especificación general modelo centralizado, http://www.eborx.com/download/en/powerrone/central-lite/pvi-250.0_500.0_es.pdf
- [4] Perpiñán Oscar, Energía Solar Fotovoltaica, <https://procomun.wordpress.com/documentos/libroesf/>
- [5] Banco Central del Ecuador, Tasa de interés abril 2015, <http://contenido.bce.fin.ec/docs.php?path=/documentos/Estadisticas/SectorMonFin/TasasInteres/Indice.htm>
- [6] CONELEC, Pliegos y cargos tarifarios año 2014, http://www.conelec.gob.ec/images/documentos/doc_10709_Cargos%20Tarifarios.pdf

[7] Márquez Ángel, Universidad Católica de Cuenca 2014, Requisitos para interconectar los sistemas fotovoltaicos a la red de distribución de Ecuador

[8] Nasa, Base de datos de la Radiación Solar, <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/retscreen.cgi?email=rets@nrcan.gc.ca>.

[9] Norma ecuatoriana de construcción NEC-11, Capítulo 14 Energías Renovables.